

Desain Prototipe *Instrumentation Amplifier* untuk Sensor SKU SEN0257 pada Kit *Couple Tank*

Aditya Gautama D^{1*}, Asrizal Deri Futra¹, Sumantri R. K¹, K. Kamarudin¹, M. Syafei G¹

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: adityagautama@polibatam.ac.id

Abstract— Analog sensors are devices used in the process industry. These sensors can be used to measure the pressure, flow, temperature, and level of a fluid in a tank. A sensor is an important part of a feedback control system that is commonly used in the process industry. In this research, an analog sensor was used to measure water pressure on a couple tank kit, which was SKU SEN0257. This pressure was converted to the depth of the water in the tank. A problem occurred when the dimension of the tank was small, then the depth change of water could not be read by a controller that connected to the sensor. Therefore, a prototype of instrumentation amplifier using IC OP027 was designed. This amplifier was used to increase the output voltage from the sensor so that it could be read by controller. The circuit that has been designed, managed to produce voltage around the desirable value 0-5V. Problem that arise from this research is the fluctuation in the amplified voltage value that need further improvement on the circuit design.

Keyword: Analog sensor, couple tank kit, instrumentation amplifier

I. PENDAHULUAN

PADA penelitian ini, sebuah prototipe *instrumentation amplifier* didesain untuk menaikkan nilai tegangan *output* dari sensor tekanan air yang terpasang pada sebuah wadah di *couple tank*. Oleh karena ukuran wadah penampungan air yang kecil maka perubahan tekanan terlalu kecil untuk dideteksi oleh kontroler baik mikrokontroler maupun PLC. Wadah ini memiliki dimensi luas penampang 11 x 11 cm dan ketinggian 30 cm. Air dapat mengisi tangki sampai pada ketinggian 25 cm sebelum dicegah meluap oleh pipa pada tengah tangki.

Desain *instrumentation amplifier* ini juga sudah dilakukan oleh beberapa peneliti lainnya. Salah satu penelitian tersebut mendesain *instrumentation amplifier* dengan menggunakan rangkaian *current mode instrumentation amplifier* menggunakan *voltage buffer* dengan mempertimbangkan faktor CMRR, *output impedance* dan *power consumption* [1]. Penelitian lain mengenai desain *instrumentation amplifier* pada bidang medis mempertimbangkan faktor CMRR, konsumsi daya, *noise effect factor*, dan *referred to input noise* [2]. Penelitian desain *instrumentation amplifier* selanjutnya mengenai *compact current mode instrumentation amplifier*,

mempertimbangkan faktor presisi pengukuran dalam rentang frekuensi kHz, CMRR, *gain*, *output swing*, konsumsi daya, dan PSSR [3]. Terdapat juga penelitian *instrumentation amplifier* untuk keperluan biomedis menganalisis sinyal EMG pada otot leher. Penelitian ini menggunakan sebuah AD620 yang dikombinasikan dengan rangkaian *filter* [4]. Desain *instrumentation amplifier* [5], [6] untuk *differential pressure flowmeter* juga sudah dikembangkan menggunakan tiga buah IC AD8221. Pada penelitian ini juga diinginkan nilai CMRR yang tinggi [7]. Penelitian pada *instrumentation amplifier* juga sudah mencapai pada desain CMOS yang menggunakan *second generation current conveyer* (CCII_s). Pada penelitian ini diinginkan desain yang mencegah saturasi *common mode* yang mendekati nilai *rail* [3]. Desain CMOS dan CNTFET untuk *instrumentation amplifier* juga sudah dikembangkan dengan mempertimbangkan CMRR, *sampling frequency*, *input impedance*, dan konsumsi daya [7].

Sementara pada penelitian ini, faktor yang dipertimbangkan dalam desain adalah CMRR, *open loop gain*, *low offset voltage* dan *input noise*. Selain itu, pada penelitian ini desain *amplifier* masih menggunakan pendekatan *voltage mode instrumentation amplifier* dengan 3 buah rangkaian *amplifier* khusus untuk sensor tekanan SKU SEN0257 pada wadah *couple tank*. Pada penelitian ini akan di tes jika desain *instrumentation amplifier* sederhana sudah cukup atau tidak untuk memenuhi kebutuhan di laboratorium instrumentasi. Variabel pembeda pada penelitian ini adalah ukuran wadah air dan sensor tekanan yang digunakan yang menghasilkan tegangan untuk mengukur ketinggian air dalam wadah. Desain *instrumentation amplifier* untuk amplifikasi tegangan sensor pada *case study* ini belum pernah dilakukan sebelumnya.

Tekanan yang dihasilkan oleh air di dalam sebuah wadah dapat dirumuskan:

$$p = \rho gh$$

Dimana p adalah tekanan air dalam pascal, ρ adalah massa jenis air, dan h adalah ketinggian air [8].

Sensor tekanan SKU SEN0257 adalah sensor linier yang mengukur tekanan *gage* sehingga tekanan atmosfer diabaikan dalam perhitungan rumus 1. Sensor ini dapat memiliki *range* tekanan dari 0–1.6 MPa. Untuk berfungsi, sensor ini membutuhkan input 5V DC dan dapat menghasilkan output (0.5–4.5) V. Akurasi dari sensor ini adalah (0.5–1) % dari skala penuh. Untuk membuktikan hubungan antara tegangan dan tekanan pada sensor ini linier disusunlah Tabel I.

TABEL I
HASIL PENGUKURAN SENSOR DAN PERHITUNGAN TEKANAN

No	Ketinggian Air pada Tangki (cm)	Tegangan Output Sensor (V)	Tekanan Air (Pa)
1	25	0,489	2450
2	20	0,486	1960
3	15	0,484	1470
4	10	0,483	980
5	5	0,480	490
6	0	0,479	0

Nilai tekanan pada Tabel I diperoleh dari perhitungan menggunakan rumus 1.

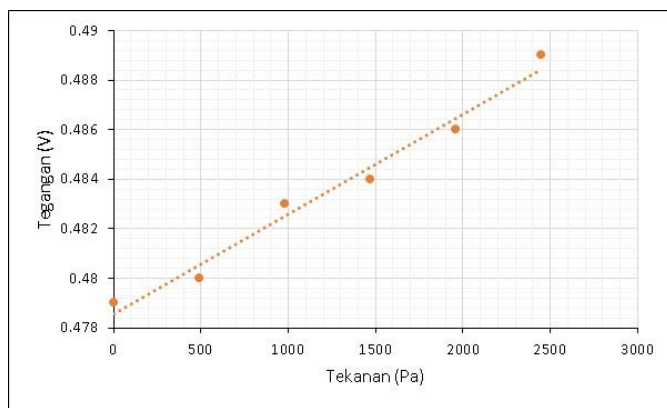
$$p = 1000 \times 9.8 \times 25 \times 10^{-2} = 2450 \text{ Pa} = 2.45 \text{ kPa} \quad (2)$$

Data pada tabel 1 tersebut kemudian diolah menggunakan Excel untuk menghasilkan persamaan regresi sebagai berikut :

$$y = (4 \times 10^{-6})x + 0.479 \quad (3)$$

Berdasarkan perhitungan regresi menggunakan Excel diperoleh $R^2 = 98\%$. Selain itu pada tingkat kepercayaan 95% diperoleh *P-value* untuk *gradient* sebesar 4.3×10^{-12} dan untuk titik potong sebesar 0,0002, yang jauh lebih kecil dari 0.05. Sehingga rumus regresi di atas valid untuk digunakan [9][10].

Grafik persamaan regresi dengan tegangan pada sumbu Y dan tekanan pada sumbu X dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. Grafik Tegangan Terhadap Tekanan

Tekanan atmosfer dapat diabaikan karena sensor mengukur tekanan *gauge*. Nilai tekanan ini cukup kecil. Jika dimasukkan ke dalam rumus (3) maka akan menghasilkan tegangan:

$$p = (4 \times 10^{-6}) \times (2450) + 0.479 = 0.489 \text{ V} \quad (4)$$

Hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran tegangan output dari sensor menggunakan multimeter pada ketinggian air tertentu pada tabel 1. Oleh karena hasil pengukuran mendekati batas bawah dari selang sensor maka perlu dilakukan penguatan menggunakan *instrumentation amplifier*. Hal ini dilakukan untuk memastikan nilai pengukuran merupakan nilai tekanan sebenarnya bukan hanya fluktuasi data output saja dan untuk disesuaikan dengan tegangan pada pin *input* PLC.



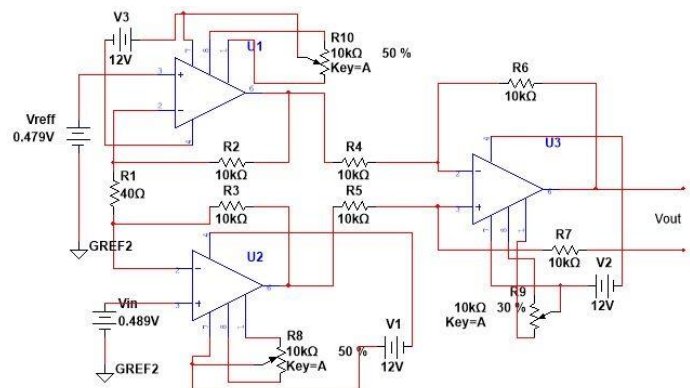
Gambar. 2. Gambar Wadah yang Digunakan dan Posisi Sensor

Pada Gambar 2 di atas dapat dilihat bentuk wadah dan posisi sensor yang dipasang. Pemilihan posisi pada bagian bawah wadah bertujuan agar tekanan air dalam wadah dapat diukur dengan akurat.

II. METODE

A. Instrumentation Amplifier

Instrumentation amplifier yang digunakan pada penelitian ini tersusun dari 3 buah *precision amplifier* OP27. Rangkaian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar. 3. Rangkaian *Instrumentation Amplifier*

Pada rangkaian ini resistor $R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = R7 = 10 \text{ k}\Omega$. Sementara variabel resistor $R1 = 40 \Omega$. Variabel resistor

digunakan agar *gain* dari amplifier ini bisa disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Untuk penelitian ini diinginkan *gain* sebesar 5 kali. Oleh karena tegangan input dari sensor ada di kisaran (0.479–0.489) V maka dengan perbesaran 501 kali tegangan yang dihasilkan ada pada kisaran ± 5 Volt. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan range ADC yang ada pada mikrokontroler ataupun PLC. Untuk sementara waktu komponen masih dirangkai pada *breadboard*, rangkaian dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari Gambar 3 *gain* yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus [8].

$$V_{out} = (V_{in} - V_{ref}) \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_6}{R_4} \right) \quad (5)$$

Rumus ini berlaku dalam kondisi $R_2 = R_3$, $R_4 = R_5$, dan $R_6 = R_7$. Tujuan rangkaian ini adalah untuk mengurangi *common mode voltage*.

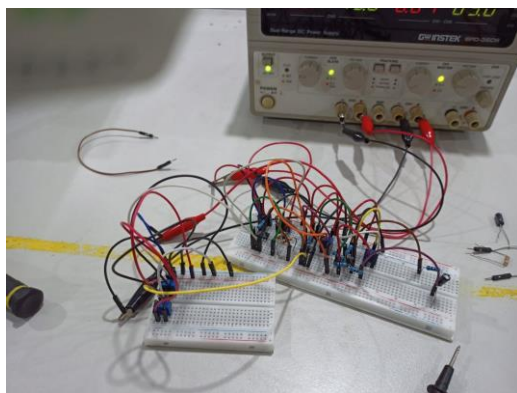
Pada penelitian ini digunakan *precision amplifier* OP27. Amplifier tipe ini jika dibandingkan dengan OP07 dan LM 741 dapat dilihat pada Tabel II. Parameter pada tabel II diperoleh dari *datasheet* masing-masing produk.

Dari Tabel II, OP27 dipilih pada penelitian ini karena memiliki *input noise voltage* yang rendah dan *open loop gain* yang tinggi. Sementara OP07 memiliki CMRR yang sama dengan OP27, tetapi karena *input noise* yang lebih tinggi dan *open loop gain* yang rendah maka OP27 dipilih dalam penelitian ini [11], [12].

TABEL II
PERBANDINGAN JENIS IC AMPLIFIER

	OP27	OP07	LM741
CMRR (dB)	120	120	95
Input Offset Voltage (μV)	30	30	1000
Input Noise Voltage (μV p-p)	0.09	0.35	-
Open loop gain	1x10 ⁶	2x10 ⁵	2x10 ⁵

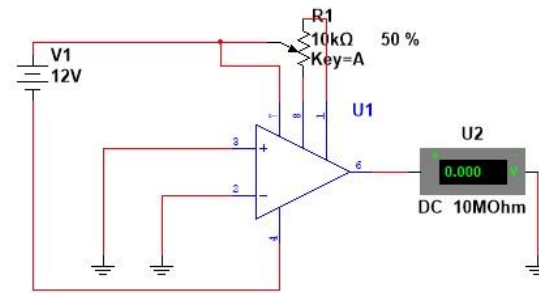
Pada Gambar 4 di bawah dapat dilihat bentuk rangkaian sementara yang masih di susun pada *project board*.



Gambar. 4. Rangkaian Instrumentation Amplifier pada Bread Board

B. Offset Nulling Circuit

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan membuat sebuah *offset nulling* circuit seperti pada Gambar 5 di bawah. Rangkaian ini berguna untuk mengurangi *offset voltage* pada amplifier.



Gambar. 5. Offset Nulling Circuit

Dengan menggunakan rangkaian ini *offset voltage* berusaha di nol-kan dengan mengubah hambatan pada potensiometer. Jika *offset voltage* mendekati nol maka akan menghasilkan pengukuran yang lebih presisi. Setelah tegangan yang diukur mendekati nol maka potensiometer tidak diubah lagi hambatannya. Sehingga ketika merangkai komponen pada rangkaian *instrument amplifier potentiometers* harus dipasangkan dengan amplifiernya masing-masing sesuai dengan proses nulling yang dilakukan.

Pengujian selanjutnya adalah dengan memasang *amplifier* ke sensor dan mengujinya untuk membaca tegangan yang keluar dari output sensor. Hasil simulasi pada piranti lunak dibandingkan dengan hasil nyata dan akan dicoba apakah output dari amplifier sudah sesuai dengan target. Penguatan tegangan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebesar 501 kali sehingga akan dihasilkan tegangan output sekitar 0-5 V yang disesuaikan dengan ADC pada PLC dan mikrokontroler.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian karena keterbatasan ketelitian resistor maka nilai output dari amplifier tidak dapat sesuai dengan nilai teoritis yang dihasilkan oleh simulasi. Hasil pengukuran menggunakan instrumentation amplifier dan multimeter dapat dilihat pada Tabel III dibawah.

TABEL III
HASIL PENGUKURAN MENGGUNAKAN AMPLIFIER

No	Ketinggian Air pada Tangki (cm)	Tegangan Output Sensor (V)
1	25	5.03
2	20	3.2 – 4
3	15	2.3 – 3
4	10	2 – 2.8
5	5	1.1
6	0	0

Penggunaan *instrumentation amplifier* ini sudah menunjukkan bahwa hasil pengukuran sudah mendekati dengan nilai yang diinginkan, yaitu output pada saat ketinggian 25 cm adalah 5 V dan pada saat ketinggian 0 sama dengan 0 Volt,

namun tegangan masih mengalami fluktuasi pada beberapa hasil pengukuran.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menunjukkan variasi nilai resistor yang cukup berpengaruh pada nilai akhir dari penguatan walaupun nilai penguatan 501 kali sudah dapat menghasilkan output tegangan yang mendekati nilai yang diinginkan. Oleh karena nilai yang diinginkan membutuhkan kepresisian yang sangat tinggi pemilihan nilai resistor dengan toleransi yang kecil perlu dipertimbangkan. Tujuan pemilihan resistor dengan toleransi kecil agar nilai hambatan yang sama lebih mudah diperoleh [13]. Oleh karena pada *instrumentation amplifier* resistor dengan nilai yang sama dibutuhkan agar memperoleh nilai CMRR tinggi sehingga dapat mengurangi fluktuasi pada tegangan output. Solusi lain bisa juga dengan menggunakan desain *current-mode instrumentation amplifier* (CMIA) [1], [3],[14],[15]. Hasil data dari penelitian ini mendukung teori pada penelitian sebelumnya [1],[3],[13]–[15] dimana dalam membuat desain rangkaian untuk *instrumentation amplifier* diperlukan rangkaian tambahan berupa *current-mode instrumentation amplifier* serta nilai resistor yang identik untuk menghasilkan nilai tegangan amplifikasi yang tidak berfluktuasi. Pendekatan ini dapat dicoba pada penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] LLleila Ssafari, Shahram Minaei, Giuseppe Ferri, and Vincenzo Stornelli, "Current-Mode Instrumentation Amplifier Based on Supply Current Sensing Technique," *International Journal of Electronics and Communications*, vol. 91, 2018.
- [2] Y. Liu, Z. Zhou, Y. Zhou, W. Li, and Z. Wang, "A low-noise chopper amplifier with offset and low-frequency noise compensation dc servo loop," *Electronics (Switzerland)*, vol. 9, no. 11, pp. 1–13, Nov. 2020, doi: 10.3390/ELECTRONICS9111797.
- [3] S. del Cesta, A. Ria, M. Piotto, R. Simmarano, and P. Bruschi, "A compact current-mode instrumentation amplifier for general-purpose sensor interfaces," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 92, pp. 8–14, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.AEUE.2018.05.013.
- [4] N. Ashriyah, N. Ashriyah, T. A. Sardjono, and M. Nuh, "Pengembangan Instrumentasi dan Analisis Sinyal EMG pada Otot Leher," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 9, no. 1, pp. F9–F16, Jul. 2020, doi: 10.12962/j23373539.v9i1.44787.
- [5] A. C. Fischer-Cripps, "Instrumentation amplifier," *Newnes Interfacing Companion*, pp. 246–260, 2002, doi: 10.1016/B978-075065720-4/50119-4.
- [6] N. Srivastava, A. Shadab, and G. Shukla, "Yokto (10-24V) instrumentation amplifier," *Proceedings of the 2012 3rd International Conference on Computer and Communication Technology, ICCCT 2012*, pp. 116–121, 2012, doi: 10.1109/ICCCT.2012.31.
- [7] A. W. Wardhana and M. I. Zulfa, "The Use of Instrumentation Amplifiers and Voltage-to-Current Converter in a Process Control: Simulation and Implementation," *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 8, no. 3, pp. 104 – 118–104 – 118, Nov. 2019, doi: 10.25077/JNTE.V8N3.664.2019.
- [8] S. C. Her and S. Z. Weng, "Fiber Bragg Grating Pressure Sensor Integrated with Epoxy Diaphragm," *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 9, May 2021, doi: 10.3390/S21093199.
- [9] P. Ji-jun, M. R. Mahmoudi, D. Baleanu, and M. Maleki, "On Comparing and Classifying Several Independent Linear and Non-Linear Regression Models with Symmetric Errors," *Symmetry 2019, Vol. 11, Page 820*, vol. 11, no. 6, p. 820, Jun. 2019, doi: 10.3390/SYM11060820.
- [10] K. Bazdaric, D. Sverko, I. Salaric, A. Martinović, and M. Lucijanic, "The abc of linear regression analysis: What every author and editor should know," *European Science Editing*, vol. 47, 2021, doi: 10.3897/ESE.2021.E63780.
- [11] P. Z. Wieczorek, T. Starecki, and F. K. Tittel, "Improving the signal to noise ratio of QTF preamplifiers dedicated for QEPAS applications," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 12, p. 4105, Jun. 2020, doi: 10.3390/APP10124105.
- [12] S. Pettinato, A. Orsini, and S. Salvatori, "Compact Current Reference Circuits with Low Temperature Drift and High Compliance Voltage," *Sensors 2020, Vol. 20, Page 4180*, vol. 20, no. 15, p. 4180, Jul. 2020, doi: 10.3390/S20154180.
- [13] D. L. Shen and Y. Y. Hsu, "A low-mismatched instrumentation amplifier for ECG front-end readout circuit," *Analog Integr Circuits Signal Process*, vol. 111, no. 2, pp. 215–221, May 2022, doi: 10.1007/S10470-022-02018-X.
- [14] I. Sabiri, H. Bouyghf, A. Raihani, and B. Ouacha, "Optimal design of CMOS current mode instrumentation amplifier using bio-inspired method for biomedical applications," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 25, no. 1, pp. 120–129, Jan. 2022, doi: 10.11591/IJEECS.V25. I1. PP120-129.
- [15] L. Safari, S. Minaei, G. Ferri, and V. Stornelli, "Analysis and design of a new COA-based current-mode instrumentation amplifier with robust performance against mismatches," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 89, pp. 105–109, May 2018, doi: 10.1016/J.AEUE.2018.03.021.